

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ БОЧКИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ НА СТАНАХ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Кухта Ю.Б.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

В статье представлено математическое описание температурного поля рабочего вала клетки кварто широкополосного стана горячей прокатки, которое легло в основу алгоритма программы изменения температур рабочих валков с возможностью определения критического перегрева основного инструмента, что позволило вносить необходимые корректировки до начала процесса производства в целях предотвращения образования дефектов металлопроката, вызванных температурным градиентом.

Ключевые слова: математическое описание температурного поля рабочего вала, широкополосный стан горячей прокатки, температура рабочих валков, температурный градиент, тепловая выпуклость валков.

The paper presents a mathematical description of the temperature field of work roll cage quarto broadband hot rolling mill, which formed the basis of the algorithm ramps work rolls to determine the critical overheating basic tool, allowing to make necessary adjustments before the start of the production process in order to prevent the formation of defects of metal, caused by a temperature gradient.

Keywords: mathematical description of the temperature field of work roll, broadband hot rolling mill, the temperature of the work rolls, thermal gradient, thermal rolls bulge.

При производстве горячекатаного проката прежде всего стремятся получить качественную продукцию, т.е. обеспечить необходимый профиль поперечного сечения прокатываемых полос при сохранении высокой плоскостности [1]. Это довольно сложная задача, требующая постоянного контроля взаимодействия множества технологических факторов, нестабильных во времени. Один из них – тепловой баланс процесса прокатки и динамика теплообменных процессов. Стабилизация этих факторов во времени, предсказуемость их колебаний – важная задача, решение которой способствует улучшению многих качественных характеристик готового проката [2].

В процессе работы из-за внутреннего прогрева тепловая выпуклость валков (ее величина зависит от разницы температур в разных точках по длине бочки вала, обычно – между краями и серединой) постепенно нарастает и стабилизируется через некоторое время, которое определяется главным образом ритмом прокатки. Чем больше температурный градиент, тем более выражено тепловое искажение профиля вала. Это приводит к изменению формы зазора между рабочими валками и как следствие – отсутствию равномерной деформации по ширине прокатываемой полосы, что ведет к формированию листа с дефектами. В связи с этим необходимо вовремя производить динамическую корректировку профиля и плоскостности прокатываемой полосы. Это позволит устранить некоторые начальные погрешности

в настройке механизмов стана и получить требуемые значения поперечного сечения и плоскостности по длине полосы [1–2].

В связи с этим актуальна задача получения информации о форме профиля валков с учетом изменения тепловой выпуклости в любой момент процесса производства. Для ее решения необходимо разработать математическое описание процесса изменения температурного поля рабочего валка при горячей прокатке и создать алгоритмы, реализовав их в виде программного продукта, который позволит провести теоретическое изучение характера изменения температурного состояния, а также провести различные исследования прикладного характера. Причем полученная информация даст возможность выдать необходимые рекомендации, позволяющие максимально эффективно поддерживать требуемое тепловое состояние рабочих валков.

Основой для разработки математического описания температурного поля рабочего валка горячей прокатки является дифференциальное уравнение теплопроводности бесконечного цилиндра [3]:

$$\frac{\partial^2 \theta(\rho, \varphi, F_0)}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \theta(\rho, \varphi, F_0)}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \cdot \frac{\partial^2 \theta(\rho, \varphi, F_0)}{\partial \varphi^2} = \frac{\partial \theta(\rho, \varphi, F_0)}{\partial F_0}, \quad (1)$$

где $\theta(\rho, \varphi, F_0)$ – относительная температура, равная $\frac{t(\rho, \varphi, F_0) - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}}$ при $(0 \leq \theta \leq 1)$; t_{\max} , t_{\min} – максимальная и минимальная температуры;

$t(\rho, \varphi, F_0)$ – абсолютная температура; $\rho = r/R$ – относительный (безразмерный) радиус; R – наружный радиус валка, $(0 \leq \rho \leq 1)$; $F_0 = \frac{\alpha \tau}{R^2}$ – число Фурье, характеризующее время неустановившегося процесса, причем α – коэффициент температуропроводности материала валка, τ – время протекания процесса.

Алгоритм определения теплового и температурного профиля рабочих валков включает в себя выполнение следующих шагов.

1. Расчет температурного поля.

Расчет температурного поля включает в себя расчет балансовых температур t_{cp} , $t_{\text{в}}$ и t_L (рис. 1).

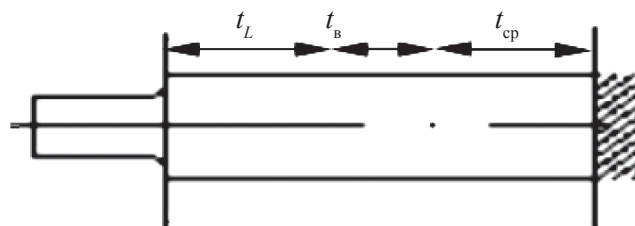


Рис. 1. Распределение температур на половине сечения прокатного валка

1.1. Температура валка в середине

$$t_{\text{cp}} = \left(\frac{(\alpha + \varphi_2/2) \cdot (k \cdot t_n - t_{\text{ж}})}{2\pi - (\varphi_2 - \varphi_4)/2} + t_{\text{ж}} \right) \frac{\tau_m}{\tau_n + \tau_m} \quad (2)$$

1.2. Температура валка в сечении t

$$t_b = \frac{\theta_b}{100} (t_{\text{cp}} - t_{\text{ж}}) + t_{\text{ж}} \quad (\pm 5 \%), \quad (3)$$

где θ_b – относительная средняя температура, %

1.3. Температура валка в точке (температура поверхности бочки валка)

$$t_L = \frac{\theta_L}{100} (t_{\text{cp}} - t_{\text{ж}}) + t_{\text{ж}}, \quad (4)$$

$$\theta_L = 1,2 + f_1 \left(\frac{\alpha_b}{\lambda_b} \right) + f_2 \left(\frac{b}{L} \right) + f_3 \left(\frac{D}{L} \right) + f_4 (\theta_{\text{пш}}), \quad (5)$$

$$\theta_{\text{пш}} = (t_{\text{пш}} - t_{\text{ж}}) / (t_{\text{cp}} - t_{\text{ж}}) \cdot 100, \quad (6)$$

$t_{\text{пш}}$ – температура подшипников.

2. Аппроксимация полученных результатов с построением кривой температурного профиля (вид кривой представлен на рис. 2).

3. Расчет разогрева и охлаждения поверхности бочки рабочих валков.

Разогрев бочки рабочих валков состоит, во-первых, из расчета средней температуры, во-вторых, расчета температуры валка при наличии полосы в стане и времени паузы. Получаем формулы расчета теплового профиля

$$\Delta_t^{o-b} = \alpha_{\text{л}} D_b \left(1 - \frac{\theta_b}{100} \right) (t_{\text{cp}} - t_{\text{ж}}), \quad (7)$$

$$\Delta_t^{o-L} = \alpha_{\text{л}} D_b \left(1 - \frac{\theta_L}{100} \right) (t_{\text{cp}} - t_{\text{ж}}), \quad (8)$$

$\alpha_{\text{л}}$ – коэффициент линейного расширения, $\alpha_{\text{л}} = 0,0000111$.

Математическое описание предоставляет возможность полноценно учесть неравномерный характер распределения температуры по длине бочки, учитывая темп прокатки – количество произведенной продукции за

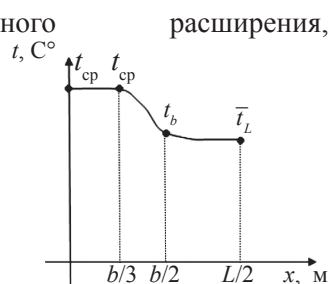


Рис. 2. Кривая температурного профиля

определенный промежуток времени, а также сортамент. Оно легло в основу алгоритмов программы, которая позволяет строить температурные профилограммы для верхних и нижних рабочих валков чистовой группы клетей широкополосного стана горячей прокатки, а также регулировать значения таких параметров, как температура среды и воды (используется для охлаждения валков), задавать время паузы.

Работа программы «Определение и прогнозирование теплового и температурного профиля бочки рабочих валков листовых станов горячей прокатки» начинается с введения информации о прокате, который готовится к производству (осуществляется в автоматическом режиме из файла, который определяет пользователь).

Происходит последовательный расчет изменения температуры для каждого следующего типоразмера с другими начальными условиями параметров толщина полосы на входе в клеть выходе из нее, температура полосы, ширина полосы, скорость и т.д. (рис. 3).

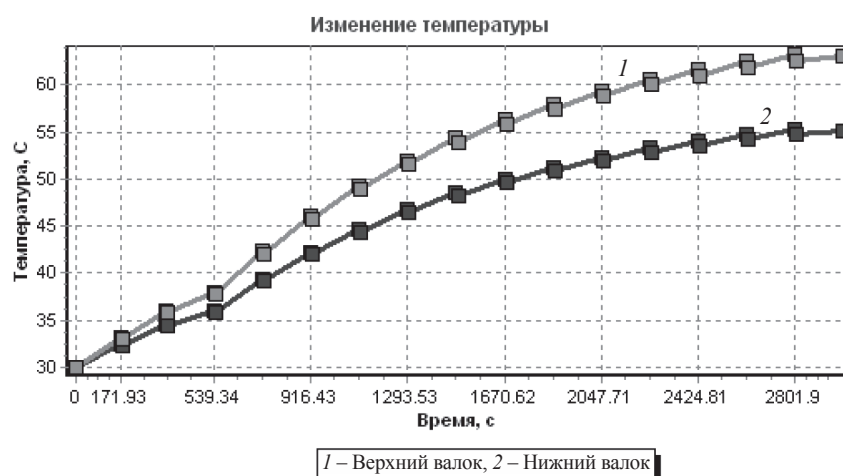


Рис. 3. График изменения температуры

На протяжении всего расчета происходит определение по температурной кривой значений минимум в 51 точке на половине длины бочки, строится график, отображающий текущий тепловой профиль. Поле на графике схематично отображает ширину прокатываемой полосы (рис. 4).

Использование представленной программы дает возможность подробного анализа изменения температур рабочих валков, что позволяет определить критический перегрев валков и внести необходимые корректировки до начала процесса производства во избежания образования дефектов проката, вызванных температурным градиентом. Появляется возможность сформировать план производства на стане горячей прокатки с учетом всех технологических аспектов и получить металлопродукцию высокого качества [4].

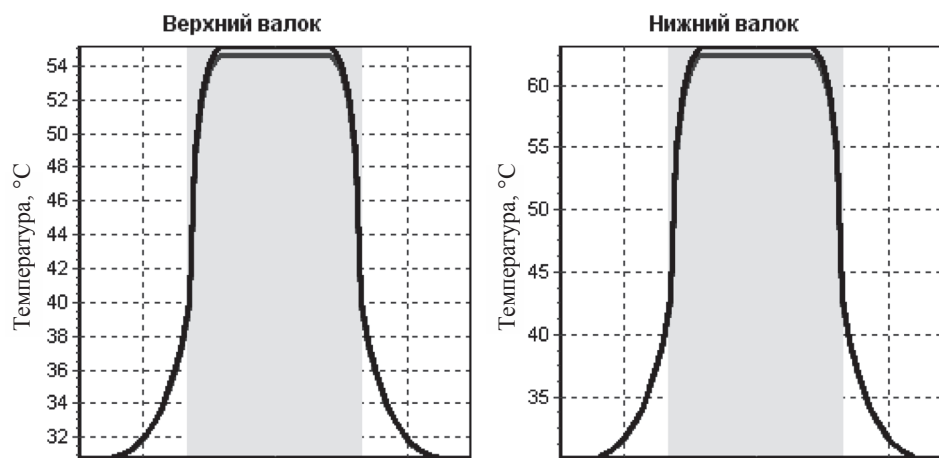


Рис. 4. Тепловой профиль вала

Список использованных источников

1. Салганик В.М., Полецков П.П., Кухта Ю.Б., Егорова Л.Г. Управление качеством горячекатаного проката по профилю и плоскостности на базе использования автоматизированной системы // *Моделирование и развитие технологических процессов: Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. – 2010. – № 1. – С. 59–62.
2. Салганик В.М., Полецков П.П., Кухта Ю.Б. Алгоритм определения и корректировки параметров горячекатаного проката на металлургическом предприятии // *Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: сб. науч. тр.* – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Вып. 19. – С. 90–94.
3. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И.. Расчет параметров листовой прокатки. М.: Металлургия, 1986. – 430 с.
4. Полецков П.П., Кожушков Е.Ю., Кухта Ю.Б. Алгоритм унификации процесса формирования плана производства на стане 2500 горячей прокатки ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах*, 2014. – № 1. – С. 49–54.